

**СЕКЦИЯ 17. СОВРЕМЕННЫЕ ТЕХНИКА И ТЕХНОЛОГИИ ТРАНСПОРТИРОВКИ
И ХРАНЕНИЯ НЕФТИ И ГАЗА. ПОДСЕКЦИЯ 1. МЕТОДЫ МАТЕМАТИЧЕСКОГО
МОДЕЛИРОВАНИЯ ПРОЦЕССОВ ТРАНСПОРТА И ХРАНЕНИЯ
УГЛЕВОДОРОДНОГО СЫРЬЯ**

3. Тихонов А.Н. Уравнения математической физики / А.Н. Тихонов, А.А. Самарский. – М.: Наука, 1966. – 724 с.
4. Томилин А.К. Методические указания по теории колебаний упругих стержней / Томилин А.К., Курильская Н.Ф. – Алма-Ата, изд. КазГУ, 1989. – 9-15 с.
5. Светлицкий В.А., Стасенко И.В. Сборник задачи по теории колебаний. М., «Высшая школа», 1979.
6. Питолин В.Е. Построение математической модели процесса возбуждения динамических составляющих поперечных сил в рабочем колесе центробежного насоса / Питолин В.Е. - Полоцкий государственный университет, 2011 – 5с.
7. Перовицков С. И. Гидродинамика центробежных насосов. - Тюмень: Изд-во Тюменск. нефтегаз. ун-та, 2002. – 160 с.

**ОБ ОСОБЕННОСТЯХ РАСЧЕТА АКУСТИЧЕСКОГО ВОЗДЕЙСТВИЯ НА ЭФФЕКТИВНУЮ
ВЯЗКОСТЬ НЕФТИ В КАНАЛАХ ПРИЗАБОЙНОЙ ЗОНЫ СКВАЖИНЫ**

М.О. Плотников

Научный руководитель – профессор С.Н. Харламов

Национальный исследовательский Томский политехнический университет, г. Томск, Россия

Введение. Метод повышения нефтеотдачи пласта с помощью акустического воздействия является одним из основных методов интенсификации добычи нефти. Акустические методы интенсификации добычи нефти основаны на разных физических процессах, протекающих или создаваемых в призабойной зоне под воздействием ультразвука. Исследование этих процессов позволяет выявить основные физические механизмы акустического воздействия, одним из которых является нелинейное взаимодействие ультразвуковой волны с жидкостью, заполняющей пористую структуру коллектора.

Пористая структура нефтяного пласта состоит из множества каналов, трещин, капилляров, соединяющих полости и обеспечивающих перетекание их жидкого содержимого. Задачей ультразвукового воздействия является стимуляция различными способами этого течения с целью увеличения выхода конечного продукта из ствола скважины. В общем случае акустическая волна имеет сферический (в случае точечного источника) или цилиндрический (для протяженной нитевидной генерации) фронт (рис.1).

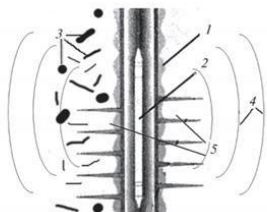


Рис. 1 *Схема взаимодействия ультразвука с пористой структурой нефтяного пласта при акустической стимуляции скважин*
1 – цементный камень; 2 – погружное устройство; 3 – пористая структура пласта (каналы, трещины, капилляры, поры); 4 – фронт перемещающейся акустической волны; 5 – перфорационный каналы.

5 жидкость перетекает в перфорационный канал по капилляру 3 под действием перепада давления Δp на концах капилляра.

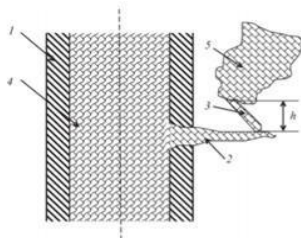


Рис. 2 *Схема структуры призабойной скважины, в которой возможна УЗ интенсификация течения жидкости*
1 – стенка обсадной трубы; 2 – перфорационный канал; 3 – соединительный капилляр; 4 – флюид в

Расчеты по скважине; 5 – полость с жидкостью. взаимодействию ультразвука с жидкостью, находящейся в каналах, трещинах, капиллярах, порах призабойной зоны скважины, проведены для одномерной плоской ультразвуковой волны, длина волны λ существенно превышает радиус каналов.

При описании распространения акустической волны в твердотельном материале структуры пласта необходимо исходить из уравнения упругости, учитывающего его вязкость и теплопроводность, для вектора \mathbf{U} соответствующего смещения [1]:

$$\rho_0 \partial_{tt}^2 \mathbf{U} = \left[\rho_0 (c_l^2 - c_n^2) + \zeta_0 + \frac{\eta_0}{3} \right] \nabla \operatorname{div} \mathbf{U} + (\rho_0 c_n^2 + \eta_0) \Delta \mathbf{U} - \frac{E\alpha}{3(1-2\sigma)} \nabla T \quad (1)$$

и уравнения теплопроводности в твердом теле для температуры T [1]:

$$C_V \partial_t T + \frac{C_P - C_V}{\alpha} \partial_t \operatorname{div} \mathbf{U} = \chi \Delta T \quad (2)$$

где ρ_0 – плотность материала; c_l и c_n – скорости соответственно продольных и поперечных колебаний в твердом теле; E – модуль Юнга; σ – коэффициент Пуассона; C_P и C_V – теплоемкости при постоянных соответственно давлении и объеме; ζ_0 и η_0 – коэффициенты первой и второй вязкости; α – коэффициент теплового расширения материала; χ – коэффициент теплопроводности.

Если направление распространения акустической волны выбрать вдоль оси z , а источник излучения поместить в начало координат $z = 0$, то граничное условие для смещения U продольной волны будет представлено следующим равенством [1]:

$$U(z = 0, t) = U_m \exp(-i\omega t) \quad (3)$$

где U_m – амплитуда смещения на выходе источника излучения; ω – частота колебаний источника.

Когда акустическая волна встречает на своем пути полость, заполненную жидкостью плотностью ρ , она через колебания стенок вызывает возмущения в жидкой среде, характеризуемые скоростью v . Система уравнений Навье-Стокса для таких возмущений состоит из двух уравнений. Одно – соотношение непрерывности:

$$\partial_t \rho + \operatorname{div}(\rho \mathbf{v}) = 0 \quad (4)$$

другое – уравнение движения жидкости:

$$\partial_t \mathbf{v} + (\mathbf{v} \nabla) \mathbf{v} - \vartheta \Delta \mathbf{v} = -\nabla \frac{p}{\rho} \quad (5)$$

где p – давление в жидкости; ϑ – кинематическая вязкость ($\vartheta = [3\zeta_0 + 4\eta_0]/3\rho$).

При расчете воздействия ультразвука на свойства жидкости будем исходить из уравнения Навье-Стокса (5), записанного как для стационарного движения жидкости со скоростью v , так и для быстрых колебаний под воздействием ультразвука, происходящих с известной частотой ω и скоростью \mathbf{u} , зависящей от задаваемой амплитуды ξ ультразвуковых колебаний [1]:

$$\begin{aligned} (\mathbf{u} \nabla) \mathbf{u} &= \nabla p + \mu \Delta \mathbf{v} \\ \rho \partial_t \mathbf{u} &= i k p_0 e^{-i\omega t + i k r} + \mu \Delta \mathbf{u}, \quad \xi = \frac{k p_0}{(\rho \omega)^2} \end{aligned} \quad (5) \text{ и } (6)$$

где \mathbf{k} – волновой вектор ультразвуковых колебаний, связанный с их длиной волны в жидкости соотношением $\lambda = 2\pi/k$; p_0 – амплитуда высокочастотного давления, представляющая собой ту часть устанавливаемой ультразвуковым генератором величины, которая дошла до рассматриваемой полости в уменьшенном из-за диссипации виде; p – стационарное давление, создаваемое внешними силами; μ – динамическая вязкость; \mathbf{r} – пространственная вектор-координата (черта сверху означает усреднение по времени за период колебаний $T_s = 2\pi/\omega$).

Рассмотрим, как изменяется формула течения Пуазейля при ультразвуковом воздействии на жидкость в цилиндрической полости радиусом R . Будем считать, что координата z направлена вдоль оси цилиндра (длину этой трубы обозначим L). Это означает, что для стимулирующей акустической волны, падающей под углом β к этой оси, вместо волнового числа k следует использовать проекцию волнового вектора $k \cos \beta$ на эту ось. Рассмотрим случай, когда $kR \ll 1$ и $k \ll \kappa_s$. Тогда из (6) можно записать [1]:

$$v = \left\{ \frac{\Delta p}{L} + \rho \xi^2 \omega^2 \kappa \right\} \frac{1}{4\mu} (R^2 - r^2) \quad (8)$$

Расход флюида Q определим по формуле [1]:

$$Q = \int_0^R r dr \int_0^{2\pi} d\varphi v = \frac{\pi R^4}{8\mu} \left(\frac{\Delta p}{L} + \rho \xi^2 \omega^2 \kappa \right) \quad (9)$$

где φ – азимутальная переменная в цилиндрической системе координат.

Как видно из (9), ультразвук эффективно увеличивает текучесть жидкости, повышая ее расход. Разделяя расход флюида на спонтанную Q_0 и вынужденную Q_s (связанную с ультразвуковым воздействием) части, выражение (9) можно записать в следующем виде [1]:

$$Q = Q_0 + Q_s, \quad Q_0 = \frac{\pi R^4}{8\mu} \frac{\Delta p}{L}, \quad Q_s = \frac{\pi R^4 \rho}{8\mu} \frac{\xi^2 \omega^2 \kappa}{L} \quad (9)$$

Введя эффективную вязкость $\mu_{\text{эф}}$, учитывающую влияние ультразвука в форме, позволяющей сохранить стандартный вид формулы Пуазейля, в которой вместо μ фигурирует $\mu_{\text{эф}}$, получим [1]:

**СЕКЦИЯ 17. СОВРЕМЕННЫЕ ТЕХНИКА И ТЕХНОЛОГИИ ТРАНСПОРТИРОВКИ
И ХРАНЕНИЯ НЕФТИ И ГАЗА. ПОДСЕКЦИЯ 1. МЕТОДЫ МАТЕМАТИЧЕСКОГО
МОДЕЛИРОВАНИЯ ПРОЦЕССОВ ТРАНСПОРТА И ХРАНЕНИЯ
УГЛЕВОДОРОДНОГО СЫРЬЯ**

$$Q = Q_0 \frac{\mu}{\mu_{эф}}; \mu_{эф} = \frac{\mu}{1 + \frac{Q_s}{Q_0}} \quad (10)$$

Из (10) видно, что эффективная вязкость всегда меньше того значения, которое свойственно невозмущенной жидкости, т. е. $\mu_{эф} < \mu$. Это указывает на увеличение переноса жидкости в присутствии ультразвука.

Рассмотренный механизм ускорения переноса жидкости в поле акустической волны носит характер прямого действия (процесс возникает непосредственно на месте реализации эффекта). Это отличает его от таких способов восстановления скважин, как использование акустического течения, которое создается внутри ствола между поверхностями обсадной трубы и погружного устройства, а возникающее вихревое движение оказывает действие уже в призабойной зоне. Поэтому применение данного эффекта наиболее эффективно в локальных местах, где влияние других методов воздействия значительно слабее.

В работе были рассмотрены особенности расчета акустического воздействия на эффективную вязкость нефти при проведении интенсификации добычи углеводородного сырья, в итоге была получена зависимость, которая наглядно показывает, каким образом изменение вязкости нефти под воздействием акустических процессов влияет на расход флюида.

Литература

1. Прачкин В.Г. Повышение продуктивности скважин методом акустического воздействия на высоковязкие нефти в каналах призабойной зоны скважины [Текст] / М.С. Муллакаев, Д.Ф. Асылбаев // Химическое и нефтегазовое машиностроение. – 2014. №9. – С. 15-19

РАЗРАБОТКА ПРОГРАММНОГО МОДУЛЯ ПРОГНОЗНЫХ ЗНАЧЕНИЙ ДЛЯ НЕФТЕПРОВОДА

Я.С. Свиридова

Научный руководитель – доцент М.Ю. Земенкова

Тюменский индустриальный университет, г. Тюмень, Россия

В современных автоматизированных системах контроля и управления применяется пакет программ SCADA. Это система диспетчерского управления, осуществляющая сбор и хранение данных в режиме реального времени. Данные системы осуществляют долгосрочное хранение данных, а также включают в себя элементы контроля и управления, анализа, сигнализации и оповещения об авариях. Основные структурные элементы SCADA представлены на рис. 1 [1].

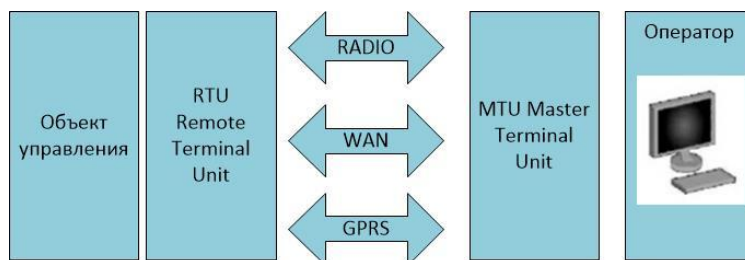


Рис. 1 Основные структурные элементы SCADA

Элемент RTU (удаленный терминал) подключается к объекту управления. В качестве RTU могут служить различные датчики, либо вычислительный комплекс, который осуществляет еще и анализ принимаемых данных. Основная функция данного элемента – это получение данных о состоянии объекта (величина температуры, давления и т. п.)

MTU (главный терминал) – это диспетчерский пункт управления, основной задачей которого является обработка полученных данных и осуществление управления в режиме реального времени. Данный элемент предполагает наличие человеко-машинного интерфейса и может состоять как из одного компьютера, так и из нескольких систем, объединенных в единую сеть.

Для связи элементов RTU и MTU служат каналы связи, например RADIO, WAN, GPRS и другие. Так же могут использоваться дублированные линии, подключаемые к нескольким сетям [2].

На рис. 2 представлен интерфейс управления магистральным насосным агрегатом в операторской НПС.

С помощью данной системы можно контролировать следующие параметры МНА: готовность к режиму дистанционного управления, состояние насосного агрегата (включен/выключен), насосный агрегат в режиме горячего резерва, отказ насосного агрегата (общий сигнал), давление на входе и нагнетании, задание уставки на входе и выходе и т. д. [5].